20. Рамочные антенны

В малых рамочных антеннах (магнитных) ток распределяется равномерно, тогда как в электрических рамочных антеннах его распределение близко к синусоиде.

Рамочные антенны применяются с самого начала развития техники радиоприема, поскольку они очень чувствительны к магнитному компоненту электромагнитного поля. Такие антенны незаменимы в радиопеленгаторах, часто используются в специальных целях (например, в радиомаяках) и выпускаются промышленностью [1]. К рамочным относятся также и широко известные антенны на ферритовых стержнях. Ниже рассматривается принцип действия рамочных антенн. Пеленгаторные антенны описываются в разделе 28.4.1.

20.1. Принцип действия рамочных антенн

Кольцо считается оптимальной формой рамочной антенны и применяется чаще других форм. По конструктивным соображениям иногда предпочитают восьмиугольник, реже – квадрат. Рамочные антенны из нескольких витков провода пригодны только для приема (раздел 28.4.1) и часто снабжаются входным усилителем на полевых транзисторах.

Периметр таких антенн обычно не превышает $\lambda/10$. Столь компактная форма особенно привлекательна как альтернатива для радиолюбителей, работающих в 40-, 80- и 160-метровых диапазонах.

Радиолюбитель DL1BU наглядно представил формирование магнитной кольцевой антенны [2]. Сначала рассматривается параллельный колебательный контур (рис. 20.1а). При возбуждении такого контура на резонансной частоте его электрическая энергия колеблется между конденсатором (электрическое поле) и катушкой (магнитное поле). Поля обоих типов концентрируются в этой замкнутой системе, почти не выходя за ее пределы.

Если в замкнутом колебательном контуре (рис. 20.1а) развести пластины конденсатора (рис. 20.1б), ранее замкнутая система оказывается разомкнутой и между пластинами возникает электрическое, преимущественно ближнее поле. Так как электрическое поле распространяется во внешнее пространство, можно говорить, что данный колебательный контур представляет собой электрическую антенну. Она соответствует сильно укороченному вибратору с концевой емкостью, известному как элементарный диполь, или диполь Герца (табл. 3.1).

Вернув пластины конденсатора в прежнее положение и растянув витки катушки так, чтобы из ее провода образовалось кольцо, получим магнитную рамочную антенну (см. рис. 20.1в). Теперь электрическое поле сконцентрировано в конденсаторе, магнитное исходит из большой кольцевой рамки. Уже в ближнем поле такой магнитной антенны

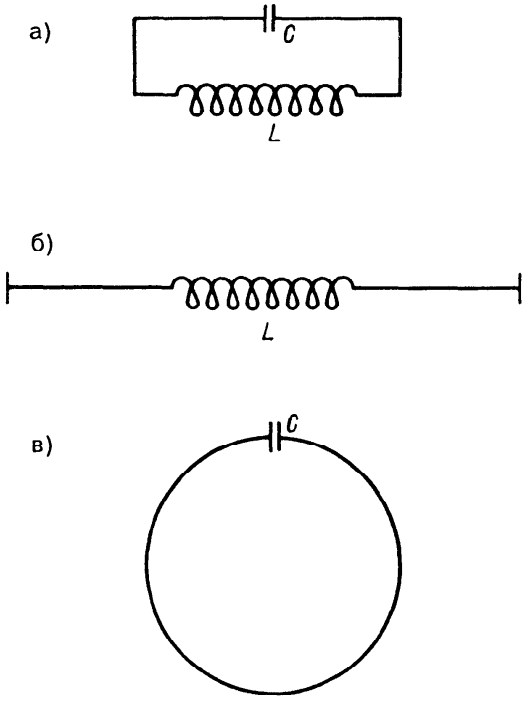


Рис. 20.1. Формирование рамочной магнитной кольцевой антенны

формируются сопутствующие электрические поля, которые на большом удалении от кольца образуют плоский волновой фронт, аналогичный фронту от электрической антенны (раздел 1.1.5).

Каждой антенне следует сопоставить сопротивление излучения R_r, которое становится активным при резонансе (раздел 3.1.3). Здесь действует правило: сопротивление излучения убывает с уменьшением длины антенны, приведенной к длине волны λ. Рамочные антенны очень коротки, поэтому их сопротивление излучения всегда меньше, чем 1 Ом, а чаще всего составляет миллиомы. Сопротивление излучения R_r кольцевой рамочной антенны с периметром U приближенно рассчитывается по следующей формуле:

$$R_r \approx 197\left(\frac{U}{\lambda}\right)^4 \text{ Ом} \qquad (20.1)$$

а для кольцевой рамки из n витков справедливо выражение

$$R_r \approx 197n^2\left(\frac{U}{\lambda}\right)^4 \text{ Ом} \qquad (20.2)$$

Согласно выражению (3.5), КПД антенны зависит от отношения сопротивления потерь R_l к сопротивлению излучения R_r. В силу этой зависимости для получения приемлемого КПД требуется свести суммарное сопротивление потерь рамочной антенны к очень малой величине. На практике это означает необходимость применения проводников с возможно большей хорошо проводящей поверхностью (медь, алюминий). Наряду с высокой электрической прочностью за счет воздушной изоляции и увеличения расстояния между пластинами конденсатор должен иметь достаточно большую и хорошо проводящую поверхность в месте соединения с кольцевым проводником. Зажимы и клепка здесь не годятся.

Если принять, что сопротивление излучения R_r кольцевой антенны при U = 0,1 λ по формуле (20.1) составит 0,02 Ом и сумма сопротивления потерь R_l также равна 0,02 Ом, то, согласно (3.5), КПД = 0,5, то есть 50%. Повышение R_l (например, из-за снижения проводимости) всего на 0,1 Ом приведет к падению КПД до 17%.

Из-за весьма малой эффективной высоты рамочных антенн h_e (раздел 3.1.6) наводимое напряжение U_r также очень мало. Поскольку кольцевая антенна при резонансе является контуром высокой добротности Q, то в соответствии с выражением (28.13) $U_{res} = U_r Q$. Высокая добротность контура приводит к узкополосности антенны. Следовательно, антенну надо подстраивать даже при небольшом изменении частоты в пределах любительского диапазона.

Излучательные свойства рамочных антенн

При установке плоскости рамочной антенны перпендикулярно земной поверхности излучение становится вертикально поляризованным (рис. 20.2). Диаграмма направленности антенны является двунаправленной, и максимальный прием происходит тогда, когда плоскость рамки совпадает с направлением на передатчик (стрелки на рис. 20.2а). На рис. 20.2б показано горизонтальное сечение диаграммы направленности. Вид сверху дает хорошо знакомую двойную круговую диаграмму с шириной по половинной мощности 90°, кольца которой подобно тору охватывают стороны антенны.

При установке плоскости такой антенны параллельно земной поверхности образуется круговой излучатель горизонтальной поляризации. Его вертикальная диаграмма

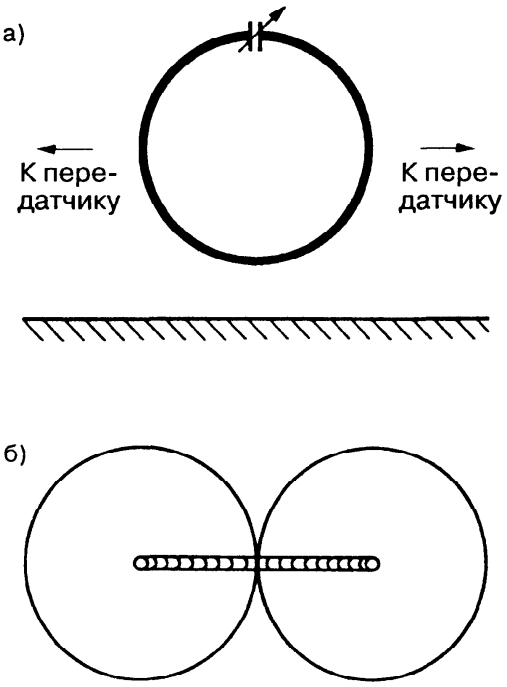


Рис. 20.2. Направленность кольцевой рамочной антенны: а – двунаправленность при вертикальной поляризации; б – вертикальная поляризация, диаграмма направленности в горизонтальной плоскости

в свободном пространстве имеет форму соприкасающихся окружностей. Вблизи грунта угол возвышения лепестка зависит от высоты антенны над землей. По данным DK5CZ [3], этот угол составляет около 14° для антенны, размещенной на высоте 1 λ от идеального грунта. На практике в диапазонах коротких волн применяются почти исключительно магнитные рамочные и кольцевые антенны вертикальной поляризации.

Коэффициент направленности (теоретическое усиление, приведенное к изотропному излучателю) небольшой рамочной антенны не зависит от частоты и достигает 1,76 dBi. Он совпадает по величине с коэффициентом направленности короткого вибратора без потерь, так что обе антенны лишь на 0,39 дБ хуже полуволнового вибратора без потерь с его усилением 2,15 dBi.

Напротив, усиление небольшой рамочной антенны при наличии потерь зависит от частоты. В формуле (3.17) для усиления присутствует КПД и, значит, отношение сопротивления излучения к сопротивлению потерь (формула 3.5). Величина усиления растет вместе с увеличением диаметра. С уменьшением частоты усиление кольцевых антенн быстро убывает и так же, как с уменьшением диаметра, медленно приближается к своему предельному значению – 1,76 dBi.

На рис. 20.3 показан частотный ход коэффициента усиления кольцевых антенн в свободном пространстве (антенны AMA 1–3) [4, 19].

Согласно кривой усиления, на частоте 3,5 МГц работа возможна уже при диаметре 0,8 м, но при этом усиление оказывается почти на 15 дБ хуже, чем при диаметре 3,4 м.

Результаты измерений ширины полосы пропускания кольцевых антенн (AMA 1–3) [4, 19] приведены на рис. 20.4. Эти кривые показывают, что ширина полосы (КСВ до 2) при диаметре 0,8 м составляет лишь 1/3 от ширины при диаметре 3,4 м.

В табл. 20.1 наряду с минимальной предельной нагрузкой настраиваемых рамочных антенн приведены частотные диапазоны для различных диаметров [4]: (3,4 м для AMA 1; 1,7 м для AMA 2; 0,8 м для AMA 3).

Кольцевая антенна небольшой окружности вблизи грунта характеризуется гораздо меньшим сопротивлением излучения по

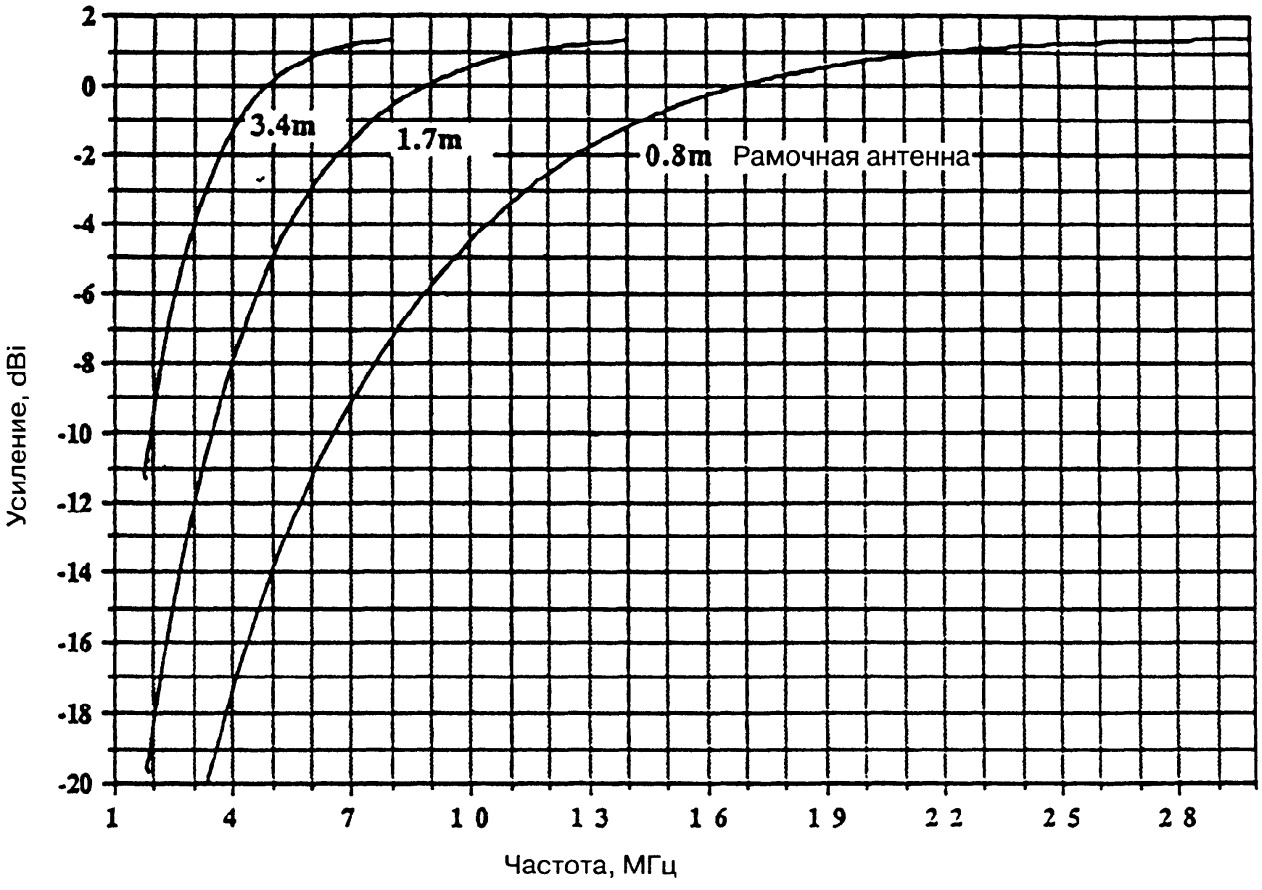


Рис. 20.3. Усиление кольцевых антенн AMA 1–3 в свободном пространстве

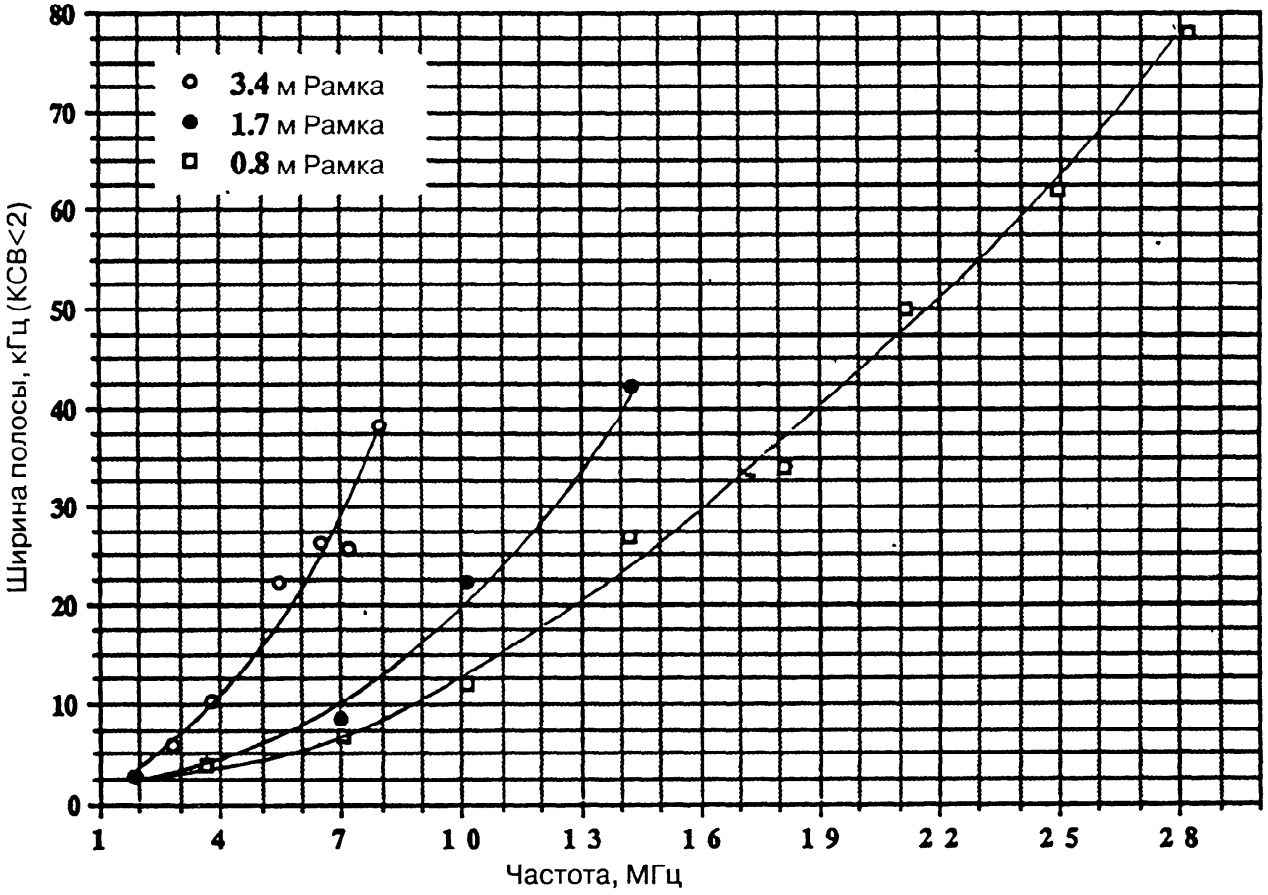


Рис. 20.4. Ширина полосы пропускания кольцевых антенн АМА 1–3

сравнению с короткой штыревой антенной той же длины. Поэтому для повышения КПД приходится снижать сопротивление потерь, увеличивая сечение проводника. Небольшое кольцо удобнее и для настроек, так как при использовании настроечного конденсатора потерь намного меньше, чем при применении настроечной катушки короткого штыря.

Кроме того, небольшая вертикальная кольцевая антенна излучает сигнал под крутым углом к поверхности земли, что невозможно с короткой штыревой антенной.

Считается, что рамочные антенны лучше всего подходят для диапазонов 80 и 40 м. Практика показывает, что в этой области частот усиление антенны в режиме приема не играет существенной роли, так как во избежание перемодуляции на входе приемника почти всегда приходится довольствоваться малым усилением по высокой частоте. Гораздо важнее избирательность, которой способствует узкополосность антенны, обусловленная высокой рабочей добротностью Q. Тем самым снижается опасность перекрестной модуляции в первых каскадах приемника. В режиме передачи высокая рабочая добротность гарантирует почти полное подавление высших гармоник. Столь существенные достоинства кольцевой антенны компенсируют неудобства, связанные с необходимостью ее настройки в резонанс даже при незначительном изменении частоты. Мастеру не составит труда собрать привод для дистанционного управления переменным настроечным конденсатором, воспользовавшись распространенными электродвигателями с редукторами для игрушек или грилей. Кольцевую антенну следует делать поворотной на 180° для того, чтобы можно было отстраиваться от помех и повышать отношение сигнала к помехам.

Как свидетельствует диаграмма направленности, антенна равномерно излучает под любыми углами возвышения. По утверждению автора работы [5], высота рамочной антенны не играет особой роли благодаря усилению магнитного компонента в ближнем поле. Однако для излучения и приема электромагнитной волны всегда нужны напряженности магнитного и электрического полей. Чем ближе антенна к земной поверхности, тем сильнее ослабляются необходимые

Таблица 20.1. Мощность и диапазоны частот антенн AMA

AMA	Минимально допустимая нагрузка, Вт	Частотная область настройки, МГц	Любительские диапазоны, м
1	250	3,4–8,0	80, 40
1 D	250	3,4–9,0	80, 40
1 DH	500	3,4–8,5	80, 40
1 DKW	1000	3,5–7,2	80, 40
2	250	6,7–15,0	40, 30, 20
2 D	250	6,9–16,0	40, 30, 20
2 DH	500	6,5–15,0	40, 30, 20
2 DKW	1000	6,9–14,5	40, 30, 20
3	250	13,8–30,0	20, 17, 15, 12, 10
3 D	250	13,5–30,0	20, 17, 15, 12, 10
3 DH	500	13,2–30,0	20, 17.15, 12, 10
3 DKW	1000	14,0–29,7	20, 17, 15, 12, 10
4	150	1,75–7,1	160, 80, 40
5	150	3,5–13,0	80, 40, 30
6	150	6,7–25,0	40, 30, 20, 17, 15, 12
7	100	1,75–8,0	160, 80, 40
8	100	3,4–15,0	80, 40, 30, 20
9	100	9,8–29,7	30, 20, 17, 15, 12, 10
9 D	250	9,8–30,0	30, 20, 17, 15, 12, 10
10	100	6,9–22,0	40, 30, 20, 17, 15
10 D	250	7,0–22,0	40. 30, 20, 17, 15
11	100	1,8–11,0	160, 80, 40, 30
12	100	3,5–18,2	80, 40, 30, 20, 17
13	100	3,5–21,5	80, 40, 30, 20, 17, 15

Параметр мощности «Минимально допустимая нагрузка» означает, что антенны AMA должны работать как минимум при указанной мощности, а не при минимальной, как это часто понимают.

Антенны с номерами без литер снабжены настроечными конденсаторами со скользящими контактами, а настроечные конденсаторы антенн с литерами D, DH или DKW таких контактов не имеют, поскольку их нагрузка составляет 500 Вт. Литера H указывает на высокую мощность антенны. Литеры KW означают, что эти антенны могут эксплуатироваться при мощности 1000 Вт, то есть с использованием легального оконечного каскада.

Мощностные параметры антенн AMA всегда относятся к пиковой мощности, иначе говоря, минимально допустимые нагрузки указаны здесь для любых режимов работы, будь то CW, AM, SSB, RTTY и др.

Указанные частотные области гарантируются. На практике они могут быть несколько шире в обе стороны.

электрические поля в диэлектрике грунта из-за потерь в нем.

Поскольку рамочные антенны сильнее реагируют на магнитную составляющую поля, они менее восприимчивы к электрическим компонентам полей местных помех. В ближнем поле источника помех (то есть на расстояниях до $\lambda/6$) обычно преобладают электрические составляющие полей, поэтому рамочная антенна нередко оказывается менее чувствительной к помехам, нежели равноценный вибратор. Применение рамочной антенны в режиме передачи также снижает или вовсе подавляет помехи телевизионному приему в ближнем поле из-за чрезвычайной узкополосности настроенных рамок.

В работе [5] есть мнение о том, что магнитная составляющая электромагнитного поля

легче проникает в здания по сравнению с электрической. Крупные металлические предметы, трубы и арматура стен частично препятствуют проникновению электрической составляющей волн в здание. Поэтому на низких частотах рамочные (магнитные) антенны работают в комнатах, на балконах или чердаках лучше электрических.

20.2. Практика создания рамочных антенн

Кольцо – самая эффективная и распространенная конструкция рамочной антенны, так как по сравнению с прочими геометрическими фигурами оно покрывает наибольшую площадь при равных периметрах. Восьмиугольник весьма близок к кольцу по эффективности, квадрату же или ромбу свойствен меньший КПД. Далее рассматриваются преимущественно кольцевые конструкции, но многое из сказанного о них применимо и к другим конструкциям рамочных антенн.

Обычно настроечный конденсатор переменной емкости размещается в верхней части вертикально установленного кольца, которое заземляется в нижней противоположной точке для защиты от грозы. Ради удобства настроек в некоторых версиях антенны конденсатор монтируют внизу кольца и часто – в корпусе вместе со схемой настройки [1, 6, 7]. На рис. 20.5 представлены принципиальные схемы емкостной настройки и развязки (конденсаторы постоянной емкости, подключаемые для грубой настройки, не показаны).

Дистанционное управление настроечным переменным конденсатором осуществить нетрудно, и потому в стационарных кольцевых антеннах C_A охотно размещают в верхней части кольца. С легкостью справляются и с гальванической связью. Возможное решение представлено на рис. 20.6а в виде Т-согласования с последующим симметрирующим трансформатором. Несимметричный вариант с гамма-согласованием приведен на рис. 20.6б. В обоих случаях длина отрезка *l* должна составлять около 0,1 от длины окружности кольца, а расстояние Y – около λ/200.

Индуктивная связь и согласование также широко распространены благодаря простоте реализации. Чаще всего применяется вариант, показанный на рис. 20.7. Внутри

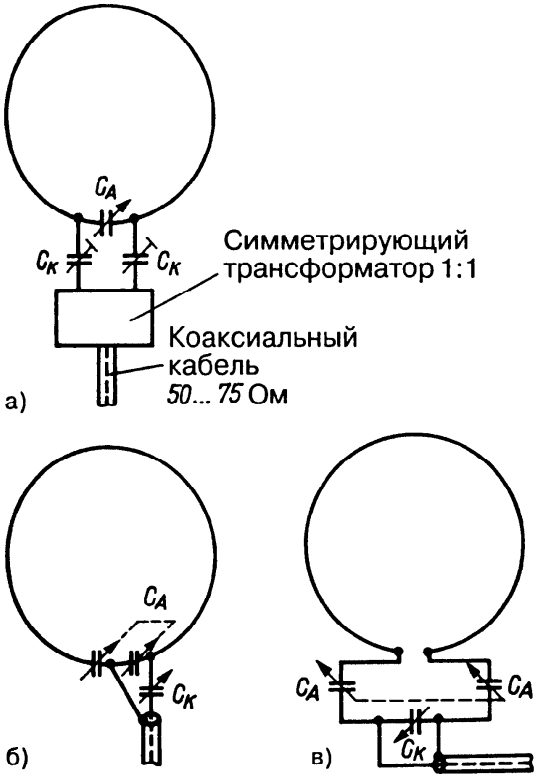


Рис. 20.5. Магнитно-рамочные антенны с нижним размещением настроечного конденсатора C_A и емкостной связью C_K:
а – емкостная связь с симметрирующим трансформатором на кольцевом сердечнике [5];
б – асимметричное подключение через емкость [5];
в – асимметричное подключение через емкость [1, 6, 7].

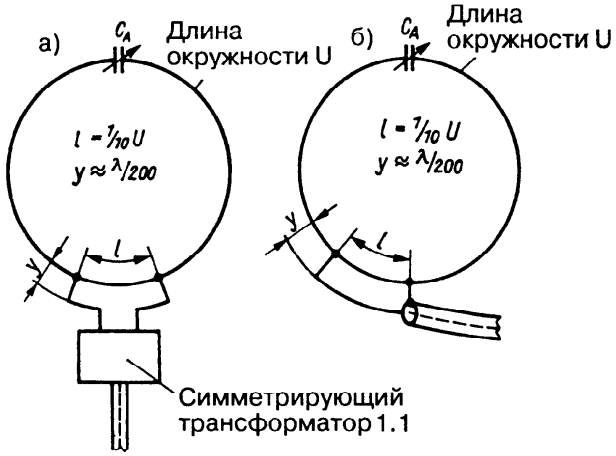


Рис. 20.6. Магнитно-рамочные антенны с гальванической связью [5]

большой петли размещают малую индуктивную петлю с соотношением диаметров 5:1. Благодаря симметричной связи через симметрирующий трансформатор на кольцевом сердечнике 1:1 можно подсоединять 50-омный коаксиальный кабель. При

несимметричной связи (рис. 20.7б) коаксиальный кабель подключается непосредственно. Электрически целесообразный способ индуктивной связи представлен на рис. 20.7в. Здесь показан только связующий виток из коаксиального кабеля с разрывом его экрана посреди витка. Экран части правой половины шлейфа припаивается к основанию большого кольца (см. рисунок), и в этом месте антенну заземляют. Слегка деформируя шлейф из коаксиального кабеля, добиваются тонкой настройки антенны на минимальный КСВ. Считается, что диаметр d должен быть тем меньше, чем выше рабочая добротность антенны.

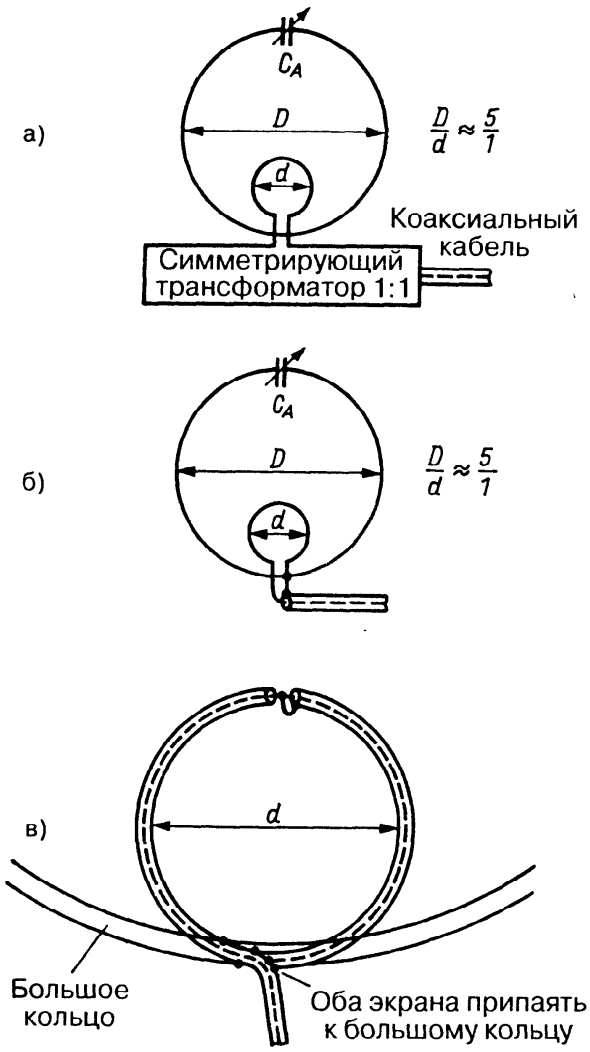


Рис. 20.7. Рамочные антенны с индуктивной связью: а – симметричное подключение с симметрирующим трансформатором на кольцевом сердечнике 1:1; б – несимметричная связь; в – индуктивная связь с экранированием (детальный эскиз).

Параметры практически испытанных антенн

Как уже пояснялось в разделе 3.1.6, величина напряжения, генерируемого антенной из окружающего электромагнитного поля, зависит от ее эффективной длины l_e (или ее эффективной высоты h_e). Эффективная длина l_e одновитковой рамки площадью А рассчитывается по формуле

$$l_e = \frac{2\pi A}{\lambda} = \frac{6{,}28A}{\lambda} \qquad (20.3)$$

Площадь рамки А связана с сопротивлением излучения R_r соотношением

$$R_{rOm} \approx 31171\left(\frac{A}{\lambda^2}\right)^2 \approx 197\left(\frac{U}{\lambda}\right)^4 \qquad (20.4)$$

Отсюда следует, что изменения эффективной длины l_e и сопротивления излучения R_r зависят от площади рамки А. Площади рамок в форме квадрата, восьмиугольника и круга, имеющих одинаковые периметры, соотносятся как 1 (квадрат) : 1,2 (восьмиугольник) : 1,29 (круг). Поскольку сопротивление излучения R_r пропорционально квадрату площади А, сопротивление излучения восьмиугольника и круга оказывается соответственно на 44% и 66% больше, чем у квадратной конструкции.

В [1] описан вариант антенны в виде правильного восьмиугольника. Он разрабатывался в военных целях и должен был разбираться на мелкие детали для удобства транспортировки. С небольшими отступлениями от оригинала эта антенна строилась и радиолюбителями [6, 7]. Она настраивается в интервале частот шириной 2,55 МГц. При стороне восьмиугольника, равной 1,52 м, его периметр составляет 12,20 м. В 80-метровом диапазоне относительная длина антенны-восьмиугольника $l \approx 0{,}14\ \lambda$, а площадь – 10,46 м^2. Круг с окружностью такой же длины, что и периметр этого восьмиугольника, занял бы площадь 11,76 м^2. По формуле (20.4) сопротивление излучения данной антенны в 80-метровом диапазоне $R_r = 0{,}063$ Ом. Настройка и согласование осуществляются посредством схемы, представленной на рис. 20.5в. Согласно [6], величина каждой из настроечных емкостей $C_A = 650$ пФ, тогда как $C_K = 500$ пФ.

Описание восьмиугольной рамки для диапазонов 160 и 80 м опубликовано в [7]. Она изготовлена из восьми отрезков алюминиевой трубки длиной по 1,5 м и диаметром около 50 мм, собранных с помощью трубчатых колен на 135°. Обеспечение надежного

контакта в сочленениях трубчатых элементов представляло здесь определенную трудность. Настройка и согласование этой антенны также осуществлялись по схеме, которая приведена на рис. 20.5в. Одинарные рамки квадратной формы описаны в [8, 9].

В [3] приведены основные параметры, а в [2] – результаты испытаний этих антенн, что позволяет подробнее познакомиться с их свойствами. Рассчитанные и измеренные характеристики антенн этого ряда приводятся в табл. 20.1. Теоретической добротности Q_s отвечает активное сопротивление излучения $R_г$

$$Q_s = \frac{X_L}{R_г} \qquad (20.5)$$

где реактивное сопротивление XL = XC = = $2\pi fL$. Рабочая добротность существенно ниже из-за различных потерь (табл. 20.3). Индуктивность круговой петли L определяется выражением

$$L_{нГн} = 2U\left(\ln\frac{U}{d} - 1{,}07\right) \qquad (20.6)$$

Длина окружности петли U и ее диаметр d выражаются в одинаковых единицах, например в сантиметрах. Настроечная емкость C_A рассчитывается по известной приближенной формуле

$$C_{A\,пФ} \approx \frac{25330}{(f_{МГц})^2 L_{мкГн}} \qquad (20.7)$$

Хорошо зарекомендовали себя магнитно-кольцевые антенны типа AMA, сконструированные радиолюбителем DK5CZ. Они являются поворотными и дистанционно настраиваются в резонанс из помещения с аппаратурой. На рис. 20.8 показана подобная антенна типа AMA 2. Она установлена на поворотном устройстве, а в ее нижней части видно малое кольцо из коаксиального кабеля, служащее элементом индуктивной связи (см. рис. 20.7). Посередине верхней ветви закреплена коробка с переменным конденсатором настройки и его приводом. Большое кольцо во всех модификациях антенны выполняется из алюминиевой трубки с внешним диаметром 33 мм.

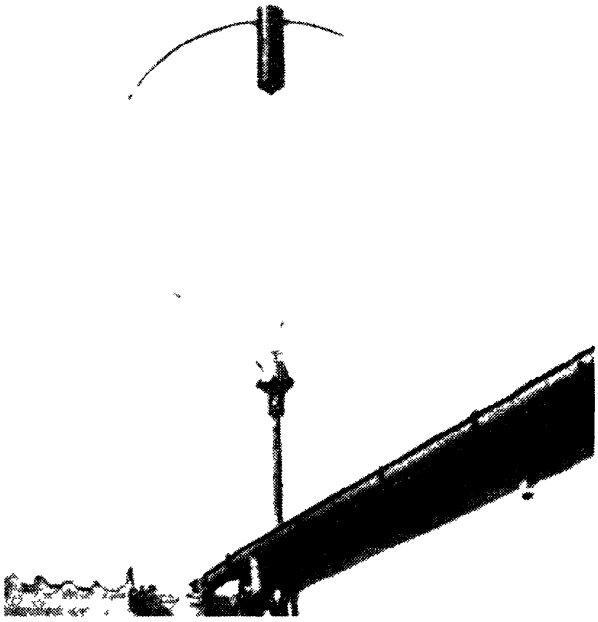


Рис. 20.8. Рамочная кольцевая антенна типа AMA 2 (фото DK5CZ)

Развитие антенн типа AMA началось с публикации DL2FA [5], где описывались магнитные коротковолновые петли для различных интервалов частот. В качестве кольцевого проводника предлагалось применять медную трубку диаметром 20 мм. Данные этих антенн указаны в табл. 20.2; остальные параметры можно рассчитывать по приведенным формулам.

Таблица 20.2. Параметры коротковолновых рамочных антенн, разработанных радиолюбителем DL2FA

Любительские диапазоны, м	80, 40	40, 30, 20	20, 17, 15, 12, 10
Диаметр кольца D, м	3,34	1,67	0,84
Длина окружности U, м	10,5	5,25	2,63
Диаметр кольца d, м	0,67	0,34	0,17
Интервал частот настройки, МГц	3,5–7,1	7,0–14,5	14,0–30
Индуктивность L, мкГн	10,9	4,6	2
Емкость C_A, пФ	160–46	112–26	65–14
Относительная длина окружности U/λ	0,123–0,249	0,123–0,254	0,123–0,263
Сопротивление излучения $R_г$, Ом	0,044–0,757	0,044–0,82	0,045–0,943

Было бы неверным утверждать, что магнитно-кольцевые антенны – всего лишь вспомогательные устройства. В действительности это не так, и доказательство тому – подробный отчет об их испытаниях, выполненных DL1BU [2]. Проверялись антенны типа AMA 1 и AMA 2, сконструированные DK5CZ (табл. 20.1) и предназначенные для любительской связи. Антенной сравнения служила пятидиапазонная Groundplane длиной 7 м в комплекте с противовесами типа Butternut HF5. Обе антенны были установлены на высоте 10 м над землей. В качестве дополнительной антенны сравнения в диапазоне 40 м использовался полуволновый вибратор, смонтированный на высоте 27 м. В публикации также приводятся образцы показаний самописца длительностью до 30 с. По результатам этих сравнительных испытаний радиолюбитель DL1BU сделал вывод: «Рамочная кольцевая антенна по своей эффективности приблизительно соответствует антенне Groundplane длиной около 7 м, требующей нескольких длинных противовесов. Зато антенна типа AMA 2 диаметром всего лишь 1,7 м обходится без всяких противовесов».

Как установил DL1BU, подгонкой малой петли КСВ снижается до величины 1,0 на любой частоте в пределах рабочего интервала. Без такой тонкой настройки в большинстве случаев удается обеспечить КСВ на уровне 1,5. Столь малой рассогласованностью можно пренебречь, поскольку потери за счет рассогласования не превышают 0,2 дБ и даже при КСВ = 2 они едва достигают 0,5 дБ. Впрочем, рассогласование полностью устраняется с помощью антенного согласующего устройства.

Тем, кто предпочитает большие выходные мощности, следует учесть, что высокочастотная нагрузка рамочных кольцевых антенн, построенных с использованием доступных любителю средств, не должна быть выше 1000 Вт. Причина кроется исключительно в настроечном конденсаторе переменной емкости C_A, который подвергается воздействию высокого напряжения и сильных токов. Для мощностей, превышающих указанную, требуются конструкции значительно больших размеров.

20.3. Электрически-магнитная антенна Groundplane

Электрически-магнитная петля Groundplane Loop (EMGL), описанная радиолюбителем DL2FA [10], показана на рис. 20.9 и представляет собой полукольцевую рамку, расположенную над проводящим грунтом. Она заземляется напрямую и одинаково реагирует на электрическую и магнитную составляющие электромагнитного поля. Как и любая рамочная кольцевая антенна, EMGL работает при гальваническом подключении фидера через гамма-согласование (рис. 20.9а), а также при емкостной (рис. 20.9б) и индуктивной (рис. 20.9в) связи с ним. Указанная на рисунках длина полукольца 0,2 λ относится к минимальной расчетной длине волны антенны. При применении EMGL использование противовеса

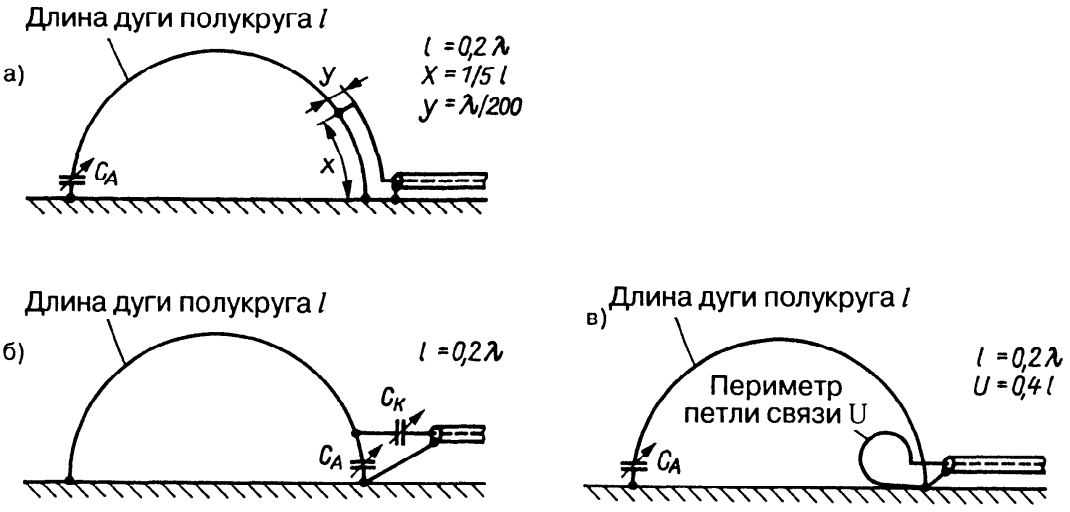


Рис. 20.9. Устройство и способы подключения EMGL: а – гальваническое соединение через гамма-элемент; б – емкостное соединение; в – индуктивное соединение

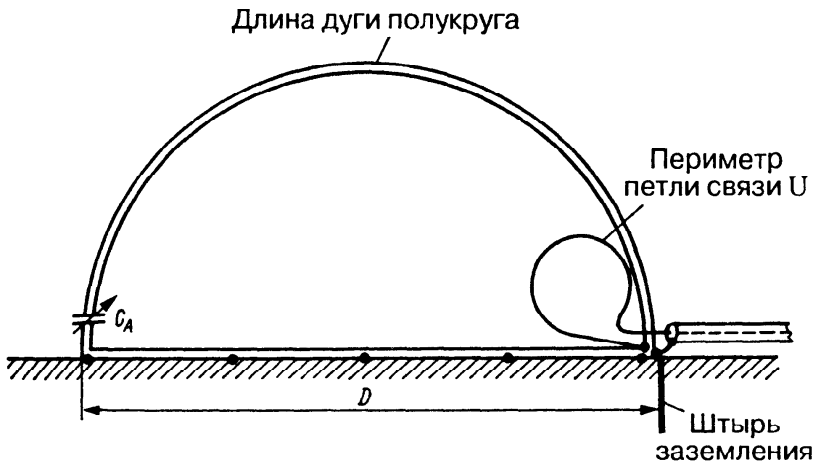


Рис. 20.10. Устройство антенны EMGL по версии DL2FA (размеры и параметры приведены в табл. 20.3)

обязательно, причем по возможности он не должен закапываться. Радиолюбитель DL2FA советует применять в качестве противовеса проволочную сетку, ею следует накрывать большую площадку под антенной. Монтировать антенну целесообразно над плоской крышей. Непосредственное заземление обеспечивается надежным громоотводом. Как и в случае с рамочными кольцевыми антеннами, при работе с EMGL необходимо добиваться возможно меньших потерь в проводнике и переменном конденсаторе настройки C_A с увеличенным расстоянием между пластинами, тем более что сопротивление излучения полукольцевой петли составляет лишь половину сопротивления излучения R_r цельного кольца.

Радиолюбитель DL2FA [10] приводит практические характеристики для различных антенн EMGL (рис. 20.10). Они представлены в табл. 20.3 вместе с другими расчетными параметрами. Проводником антенны служит медная трубка диаметром 10 мм, а виток элемента индуктивной связи делается из медной проволоки диаметром не менее 2 мм. Наземный проводник D надежно припаивается к противовесу из проволочной сетки, а для грозозащиты используется заземляющий штырь.

Указанные электрические параметры такой антенны возможны лишь при условии, если в целом ее конструкция характеризуется малыми потерями и имеется достаточно большой противовес. Приходится даже пропаивать пересечения проволоки в сетке противовеса. Он должен быть по крайней мере вдвое длиннее и шире полукольца антенны. В данном варианте использовано

Таблица 20.3. Размеры и параметры антенны EMGL

	Любительские диапазоны, м		
	80, 40	40, 30, 20	20, 17, 15, 12, 10
Длина полуокружности l, м	8,4	4,2	2,1
Нижний проводник D, м	5,35	2,67	1,34
Длина окружности петли индуктивной связи U, м	3,36	1,68	0,84
Частотная область настройки, МГц	3,5–7,1	7,0–14,5	14,0–30
Индуктивность L, мкГн	6,22	2,8	1,27
Емкость C_A, пФ	322–80	184–43	102–22
Относительная длина полуокружности l/λ	0,098–0,155	0,099–0,20	0,10–0,21
Сопротивление излучения R_r, Ом	0,009–0,155	0,009–0,158	0,01–0,19
Ширина полосы B по уровню 3 дБ, кГц	5,7 для 80 м	11,5 для 40м	24 для 20 м
Усиление, приведенное к Groundplane длиной $\lambda/4$, дБ	67 для 40 м	147 для 20 м	323 для 10 м
	–1,91 для 80 м	–1,52 для 40 м	–1,22 для 20 м
	–0,55 для 40 м	–0,50 для 20 м	–0,47 для 10 м

дистанционное управление переменным конденсатором C_A. Индуктивная связь настраивается на оптимум путем деформации петли U. КСВ на коаксиальном кабеле составляет приблизительно 1,5.

20.4. Преимущества рамочных антенн

Вот краткий перечень преимуществ магнитно-рамочных антенн по сравнению с электрическими:

- рамочные системы не нуждаются в противовесах и катушках для настройки;
- предельная компактность сочетается с высоким КПД;
- способность непрерывно перекрывать заданный интервал частот;
- точность дистанционной настройки при соответствующем редукторе привода;
- оптимальность коэффициента стоячей волны (КСВ) для каждой частоты в интервале настройки;
- рамочные антенны не нуждаются в согласующих устройствах;
- пригодность для любых приемопередающих устройств;
- благодаря оптимальному согласованию отсутствуют потери мощности при использовании транзисторных оконечных каскадов;
- рамочные антенны одинаково пригодны для дальней связи и радиообмена в среднеевропейских границах благодаря излучению под наклонными и крутыми углами;
- несмотря на существенно меньшие габариты по сравнению с полуволновым вибратором, разница теоретического усиления идеальной антенны в свободном пространстве составляет лишь 0,4 дБ. В случае эксплуатации рамочной антенны и горизонтального полуволнового вибратора вблизи земной поверхности первая обеспечит значительно более высокие результаты, к тому же эта антенна прекрасно подходит для работы в мобильном режиме и полевых условиях;
- при вертикальном расположении рамки ее диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имеет форму восьмерки, что позволяет отстраиваться от мешающих станций (пеленгаторный эффект);
- малые потери на преобразование благодаря одноручечной настройке и высокой добротности крупной одновитковой катушки;
- перемещение антенны с большой высоты к земной поверхности мало сказывается на ее эффективности, поскольку при вертикальном монтаже рамки магнитные силовые линии идут параллельно электропроводному грунту (с присущими ему потерями) и почти не зависят от его свойств;
- магнитная составляющая поля электромагнитного излучения глубже проникает в здания по сравнению с электрическим компонентом. Обилие металла и проводов, хорошо проводящие стены в определенной степени затрудняют проникновение электрической составляющей в помещения, благодаря чему магнитно-рамочные антенны лучше работают в комнатах, на балконах или чердаках, нежели электрические;
- благодаря исключительно высокой добротности ($Q \approx 400$) рамочные антенны характеризуются весьма узкой полосой пропускания относительно выбранной частоты. Этим обеспечивается существенная дополнительная преселекция величиной более 30 дБ, что, в свою очередь, резко снижает перекрестную модуляцию во входных каскадах приемника и улучшает вечерний прием в диапазоне 40 м;
- в режиме передачи рамочные антенны препятствуют излучению высших или побочных гармоник передатчика (например, первая гармоника подавляется на уровне 35 дБ, отсюда – умеренность помех радиовещанию и телевизионному приему);
- рамочные антенны являются симметричными системами. Им не нужны электрические противовесы. Рамочные антенны не наводят неконтролируемые конвективные токи в грунте или стенах зданий, что также способствует снижению указанных помех;
- описываемые антенны заземляются напрямую, чем обеспечивается оптимальная грозозащита;
- из-за синфазного отражения электрические вертикальные антенны, установленные на грунте с хорошей электропроводностью, излучают радиоволны под плоским углом, что важно для дальней связи. Аналогичным образом излучают и рамочные антенны. Из-за электрических потерь в земле амплитуда почти горизонтальной

составляющей излучения рамочной антенны оказывается больше, чем амплитуда аналогичного компонента излучения вертикальной электрической антенны.

20.5. Особенности излучения рамочных антенн

Вертикальная компоновка

При вертикальной установке рамочной антенны ее диаграмма направленности в горизонтальной плоскости похожа на восьмерку. При такой диаграмме антенна мало чувствительна к сигналам помех, приходящим вдоль нормали к плоскости рамки. Вид сверху на эту диаграмму (рис. 20.11) соответствует излучению антенны под малым углом к горизонту. Диаграмма в вертикальной плоскости (рис. 20.12) является круговой, что свидетельствует о равномерном излучении волн в плоскости рамки. Поэтому рамочные антенны как нельзя лучше подходят для обеспечения ближней и дальней связи. В данном варианте речь идет об антенне вертикальной поляризации.

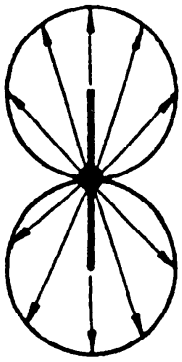


Рис. 20.11. Горизонтальная диаграмма направленности вертикально установленной рамочной антенны (вид сверху)

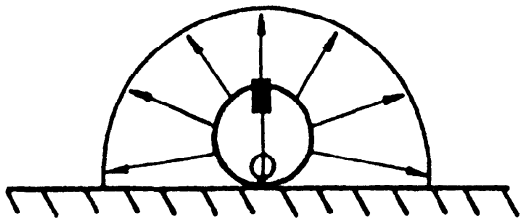


Рис. 20.12. Вертикальная диаграмма направленности вертикально установленной рамочной антенны (вид сбоку)

Горизонтальная компоновка

Круговая диаграмма свойственна рамочной антенне при горизонтальном положении рамки (рис. 20.13). Минимальное излучение распространяется вдоль вертикали к плоскости рамки по обе стороны от нее. Угол возвышения главного луча зависит от строительной высоты антенны h над землей. Благодаря слабости излучения под крутыми углами, такая антенна является круговым излучателем, хорошо приспособленным для дальней связи. Вертикальная диаграмма антенны показана на рис. 20.14. В этом варианте она характеризуется горизонтальной поляризацией.

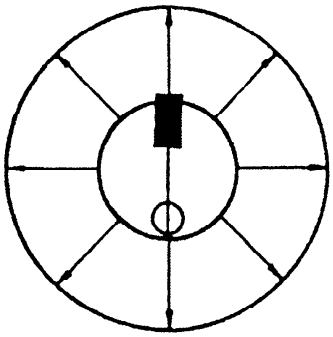


Рис. 20.13. Горизонтальная диаграмма направленности горизонтально установленной рамочной антенны (вид сверху)

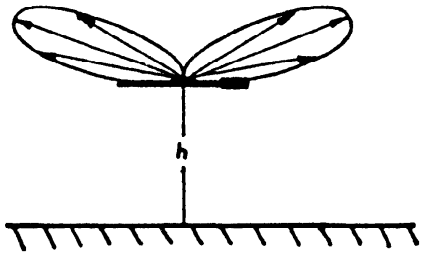


Рис. 20.14. Вертикальная диаграмма направленности горизонтально установленной рамочной антенны (вид сбоку)

20.6. Указания по проектированию рамочных антенн

Рамочные или кольцевые антенны применяются в качестве приемных и передающих. Они отличаются компактностью, широкополосностью и острым резонансом на любой из настраиваемых частот, что позволяет добиваться наилучшего соотношения затрат и результатов при самостоятельном изготовлении таких антенн.

Создание восьмиугольных рамок описано в [11, 12], а квадратных – в [13, 16]. В [17] рассказывается о квадратной рамочной антенне из трех витков для работы в диапазоне 80 м. Антенна на ферритовом стержне для 160-метрового диапазона рассматривается в [20].

Кольцевая антенна диаметром 470 мм (см. рис. 20.15) предложена радиолюбителем DK1MM [18] и предназначена для работы в шестиметровом диапазоне. Она крепится на полосе из твердой древесины или гетинакса размером 500×50×10 мм. Проводником служит пруток из мягкой меди диаметром 10 мм. Радиолюбителю трудно применить здесь трубку из жесткой меди, так как для ее обработки потребуется гибочный пресс. В качестве настроечного конденсатора подойдет триммер с воздушной изоляцией, емкостью 10 пФ и расстоянием между пластинами 1,5–2 мм. Полоса частот после настройки на минимум КСВ – 270 кГц (по критерию КСВ ⩽ 2).

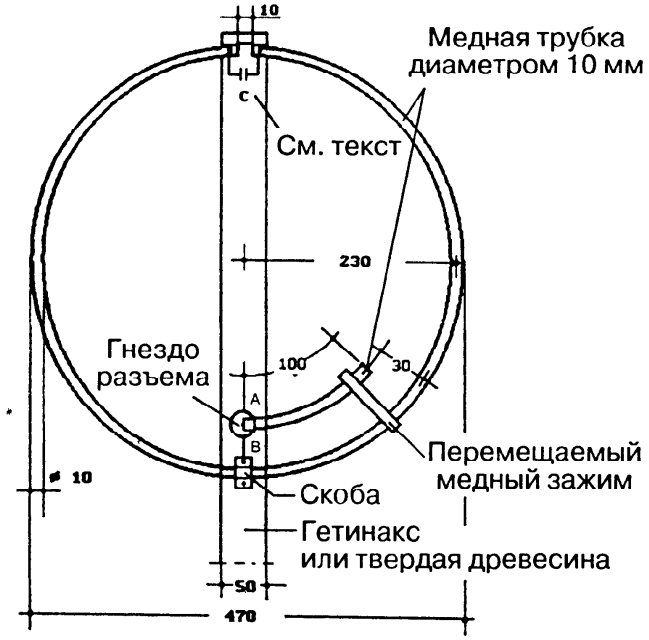
При эксплуатации антенны были получены отличные результаты: из жилого помещения в обычных условиях при мощности эквивалентного изотропного излучателя 11 Вт удавалось с первого раза устанавливать связь со станциями Южной Америки и Южной Африки.

Рамочная квадратная антенна для диапазона 2 м (рис. 20.16), предназначенная для работы в мобильном режиме, крепится к кузову автомашины магнитным держателем. Она изготовлена из стандартной медной трубки диаметром 22 мм и соответствующих сочленений (колена, тройники, переходник 22/15), спаянных между собой. Стороны квадратной антенны составляют всего 156 мм. Тонкая настройка осуществляется с помощью винта в щели, играющей роль емкости. После настройки на минимум КСВ ширина полосы приблизительно равна 200 кГц (по критерию КСВ ⩽ 1,5). При горизонтальном монтаже антенна действует как круговой излучатель горизонтальной поляризации. При вертикальном монтаже ее диаграмма становится двунаправленной (лежащая восьмерка), а поляризация – вертикальной. Вращая антенну, можно ослаблять сигналы мешающих станций.

Литература к главе 20

[1] *Patterson, K. H.:* Down-to-earth Army antenna, Electronics, 40 (1967), August 21, pp. 111–114.

[2] *Schwarzbeck, G.:* Rahmen und Ringantennen Magnetische Antennen, Beschreibung und Meßergebnisse, cq-DL 5/1984, S 226–234.



A. Центральный проводник разъема спаять с трубкой 100 мм

B. Внешний проводник разъема соединить скобой с рамкой

Рис. 20.15. Размеры кольцевой антенны для диапазона 6 м

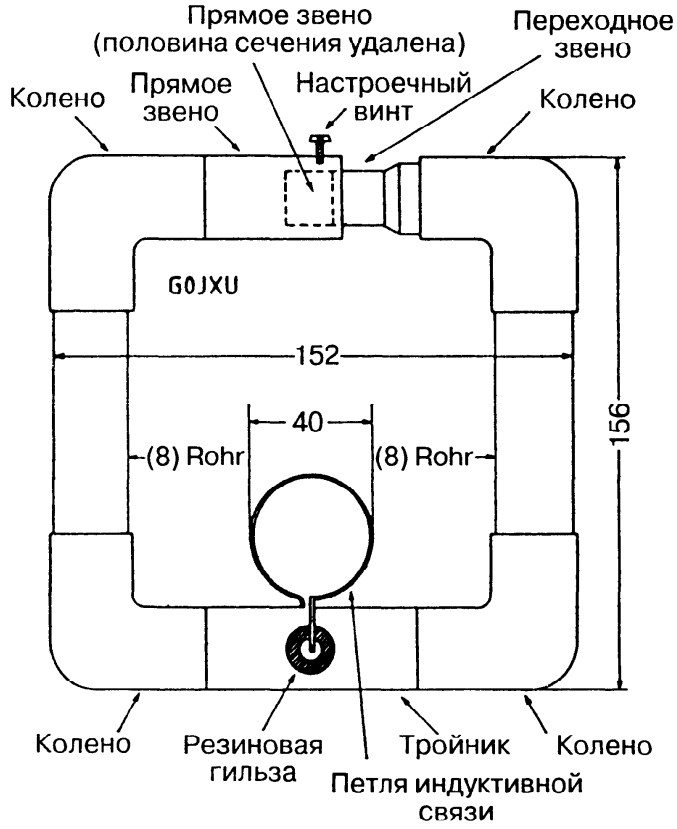


Рис. 20.16. Конструкция и размеры рамочной антенны для диапазона 2 м

[3] *Kaferlein, C.:* Abstimmbare Magnetische Antennen (AMA), Firmenschrift, Darmstadt, 1994.
[4] *Kaferlein, C.:* AMA Strahlungsdiagramme, Gewinndiagramme, Bandbreitendiagramme, Vergleich mit Dipol Firmenschrift, Darmstadt, 1994.
[5] *Wurtz, H.:* DXAntennen mit spiegelnden Flachen, Magnetische Antennen cq-DL 2/1983, S. 64–67, 4/1983, S. 170–171.
[6] *McCoy L. G.:* The Army Loop in Ham Communication, QST, March 1968, pp. 17–18, 152.
[7] *Spelman F. A., Spillane J.* The Ferris Wheel Antenna for 160- and 80-Meters. 73 Magazine, February 1968.
[8] *Killeen J. R.:* A compact hf antenna for portable or base Operation. Radio Communication, September 1983, pp. 796–797.
[9] *Pelz D.; Christmann R; Sigrist R.:* Rahmenantenne – keine Wunderantenne – aber ein Ding mit Pfiff!. cq-DL, 9/1982, S. 435–437.
[10] *Wurtz, H.:* Die elektrisch-magnetische Groundplane-Loop (EMGL), cq-DL, 5/21983, S. 224–225.
[11] *Hart, T.:* Small High Efficiency Loop Antenna, QST June 1986, pp. 33–36
[12] *Mozzochi, C.J.* A Small Loop Antenna for 160 Meters, QST, June 1993, pp. 32–34.
[13] *Ritter, G.:* Eine Kurzwellen-Rahmenantenne fur 7 MHz bis 21 MHz. cq-DL 7/87, S. 422–426.
[14] *Winsor, J:* Eine magnetische Ringantenne für das 2-m-Band. UKWBerichte 2/90, S. 66–70.
[15] *Schafer, J.:* Die Rahmenantenne – eine Behelfsantenne zum Selbstbau. cq-DL 1/90, S. 21–26.
[16] *Wiche, G.:* Praktische Hilfen fur den Magnetischen Antennenbau. cq-DL 2/92, S. 72–75 (auch QSP 1/92, S. 44-51).
[17] *Jones, J. K.:* A Practical Compact Multiturn Transmitting Loop Antenna for 80 Meters. QST, November 1994, p. 87.
[18] *Michaelis, M.:* Magnetische Antenne für das 6-m-Band. Funk 1/93, S. 77–79.
[19] *Beirose, J. S.:* An Update on Compact Transmitting Loops. QST, November 1993, pp. 37–40.
[20] *Marns, R. Q.:* Top Band Loop for Low Noise Reception. Radio Communication, November 1994, pp. 70–71.
Bohm, O.. Einfache magnetische Loop für 160/80/40 m. Funk 5/94, S. 42–45.
Craighero, R: Electrically tunable HFLoop. Radio Communication, February 1989, pp. 38–42.
Hart, T.: Small High Efficiency Antennas alias The Loop. Antenna Products, Melbourne FL, 1989.
Henk, A. J.: Loop Antennas, Facts not Fiction. Radio Communication, September 1991, pp. 51–53.
Peters, B.: Rahmenantennen, W. Herbst Verlag, Koln, 1992.
Wirth, C.: Neue Form der Abstimmung bei einer magnetischen Antenne. cq-DL 9/88, S. 543–544.
Wollweber, J.: Die magnetische Antenne – eine Wunderantenne. cq-DL 2/87, S. 149–151.
Zisler, H.: Noch eine magnetische Antenne. cq-DL 5/90, S. 302.